

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-037462

(43)Date of publication of application : 07.02.2003

(51)Int.Cl.

H03H 3/02  
G06F 17/50

(21)Application number : 2001-226772

(71)Applicant : SEIKO EPSON CORP

(22)Date of filing : 26.07.2001

(72)Inventor : TANAKA MASAKO  
IMAI TSUTOMU

(30)Priority

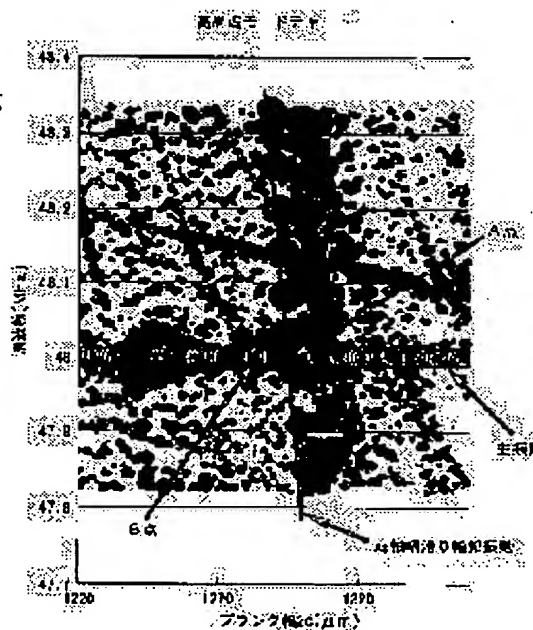
Priority number : 2001143839 Priority date : 14.05.2001 Priority country : JP

(54) METHOD FOR DESIGNING PIEZOELECTRIC OSCILLATOR, METHOD FOR PREPARING MODE CHART, METHOD FOR PREPARING FREQUENCY/TEMPERATURE CHARACTERISTICS CURVE, SIMULATION METHOD OF THE PIEZOELECTRIC OSCILLATOR, DESIGNING DEVICE OF THE PIEZOELECTRIC OSCILLATOR AND SIMULATION PROGRAM OF THE PIEZOELECTRIC OSCILLATOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To solve the problem, with the high-frequencies of a crystal oscillator, an optimum design range which averts spurious oscillations becoming narrowed, so that design becomes very difficult.

SOLUTION: An area of points, representing main oscillation and spurious oscillations of a conventional mode chart is plotted by a value, in proportion to the total charge volume included in each oscillation, and a region which averts the spurious oscillation of a large area is selected as optimum design region.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

10.01.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

BEST AVAILABLE COPY

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

\* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] A layout method of a piezoelectric transducer characterized by computing the amount of charges which asks for displacement of a principal vibration of a piezoelectric transducer, and spurious vibration with the finite element method, and is generated in an electrode surface with this displacement.

[Claim 2] A creation method of a mode chart characterized by having created a mode chart showing the size dependency of a principal vibration and spurious vibration, having asked for displacement of a principal vibration of said piezoelectric transducer, and spurious vibration with the finite element method in the technique of determining an optimum design value from that mode chart, having computed the amount of charges generated in an electrode surface with this displacement, and adopting this amount of charges as weighting when designing a piezoelectric transducer. [Claim 3] The layout method of the piezoelectric transducer characterized by to determine the optimum design field of a piezoelectric transducer from the mode chart which created the mode chart showing the size dependency of a principal vibration and spurious vibration, asked for displacement of a principal vibration of said piezoelectric transducer, and spurious vibration with the finite element method in the technique of determining an optimum design value from that mode chart, computed the amount of charges generated in an electrode surface with this displacement, and adopted this amount of charges as weighting in case a piezoelectric transducer designs. [Claim 4] A creation method of a frequency temperature characteristic curve characterized by asking for displacement of a principal vibration of said piezoelectric transducer, and spurious vibration not only with a frequency location of spurious vibration but with the finite element method, adopting a method of computing the amount of charges generated in an electrode surface with this displacement in a creation method of a frequency temperature characteristic curve of a piezoelectric transducer computed with the finite element method, and carrying out weighting to spurious vibration. [Claim 5] The layout method of the piezoelectric transducer characterized by to determine the layout optimal field using the temperature characteristic curve which created by asking for the displacement of the principal vibration of said piezoelectric transducer, and spurious vibration not only with the frequency location of spurious vibration but with the finite element method, adopting the method of computing the amount of charges generated in an electrode surface with this displacement in the layout method of the piezoelectric transducer using a frequency temperature characteristic curve of a piezoelectric transducer computed with the finite element method, and carrying out weighting to spurious vibration. [Claim 6] A layout method of a piezoelectric transducer characterized by asking for

displacement of a principal vibration of a piezoelectric transducer, and spurious vibration with the finite element method, computing the amount of charges of a principal vibration using a method of computing the amount of charges generated in an electrode surface with this displacement, and determining an optimum design configuration from that configuration dependency. [Claim 7] A layout method of a piezoelectric transducer characterized by making into an optimum design field a field where the configuration dependency of frequency was also taken into consideration, and said amount of charges and said frequency were stabilized in addition to said amount of charges in a layout method of a piezoelectric transducer of claim 6. [Claim 8] A layout method of a piezoelectric transducer characterized by said piezoelectric transducer being a quartz resonator in claims 1, 3, 5, and 6 or 7.

[Claim 9] A creation method of a mode chart characterized by said piezoelectric transducer being a quartz resonator in claim 2.

[Claim 10] A creation method of a frequency temperature characteristic curve characterized by said piezoelectric transducer being a quartz resonator in claim 4. [Claim 11] A layout method of a piezoelectric transducer characterized by determining a blank size of a piezoelectric transducer based on the amount of net charge generated by association with a principal vibration and spurious vibration. [Claim 12] Said blank size is the layout method of a piezoelectric transducer according to claim 11 characterized by determining that reduction of the amount of charges of said principal vibration by said spurious vibration will become below a predetermined value. [Claim 13] A simulation method of a piezoelectric transducer characterized by computing the amount of net charge generated by association with a principal vibration and spurious vibration. [Claim 14] Layout equipment of a piezoelectric transducer characterized by having a parameter input means to input a blank size of a piezoelectric transducer as a parameter, and an amount calculation means of net charge to compute the amount of net charge generated by association with a principal vibration and spurious vibration about said blank size. [Claim 15] Layout equipment of a piezoelectric transducer according to claim 14 characterized by having further a mode chart display means which carries out the enlarged display of the point which shows said spurious vibration on a mode chart corresponding to said amount of net charge. [Claim 16] Said mode chart display means is layout equipment of a piezoelectric transducer according to claim 15 characterized by what is displayed with a circle which has area corresponding to said amount of net charge for a point which shows said spurious vibration. [Claim 17] Layout equipment of a piezoelectric transducer according to claim 14 or 15 characterized by having further a principal-vibration display means to display change of the amount of charges of said principal vibration to said blank size, and frequency. [Claim 18] A simulation program of a piezoelectric transducer characterized by making a computer perform a step which computes the amount of charges generated by association with a principal vibration and spurious vibration by making a blank size of a piezoelectric transducer into a parameter. [Claim 19] A simulation program of a piezoelectric transducer characterized by making a computer perform a step which computes the amount of charges generated by association with a principal vibration and spurious vibration by making temperature into a parameter to a specified blank size.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] This invention relates to the layout method of a piezoelectric transducer, the creation method of a mode chart, the creation method of a frequency temperature characteristic curve, the layout equipment of a piezoelectric transducer, and the simulation program of a piezoelectric transducer.

[0002]

[Description of the Prior Art] The principal-vibration frequency of an AT cut quartz resonator is determined by the formula (1), when the crystallographic axis x1 of vibrator with the configuration of a rectangle plate, x2, and x3 are defined like drawing 1 and each size is set to length 2a, thickness 2b, and width-of-face 2c. [0003]

[Equation 1]

$$f_{(1,1,0)} = \frac{1}{2 \cdot 2b} \sqrt{\frac{C_{66}}{\rho}} \left( 1 + \frac{1}{2} \frac{C_{11}}{C_{66}} \left( \frac{b}{a} \right)^2 \right) \dots (1)$$

一般的には

$$\frac{1}{2} \frac{C_{11}}{C_{66}} \left( \frac{b}{a} \right)^2 \ll 1 \text{ である}$$

$f_{(1,1,0)}$  ; 主振動周波数

$C_{66}, C_{11}$  ; 弾性定数

$\rho$  ; 水晶の密度

[0004] This is called the thickness slip vibration which starts displacement in the x1 direction with slipping to direction x2 of thickness 2b as shown in drawing 2, and the Xtal blank is mostly in inverse proportion to thickness 2b, as frequency was shown by the formula (1). as it shows by drawing 3 (a), in order that this thickness slip vibration may have the temperature characteristic of the 3rd curve and may show only about \*\*10 ppm frequency deviation in the temperature characteristic in -50 degrees C - 100 degrees C which is the use range of an equipment -- high -- it is widely used as a stable source of frequency.

[0005] However, various mechanical vibration in addition to a principal vibration also exists in coincidence, and, generally is called spurious vibration (unnecessary vibration) to the Xtal blank with a configuration like drawing 1. The mode of a typical spurious vibration is shown in drawing 4, and the formula of the frequency drawn from the equation of motion corresponding to those modes is shown below.

Here, in the case of drawing 4 (a), a formula (2) corresponds, in the case of drawing 4 (b), a formula (3) corresponds, and, in the case of drawing 4 (c), a formula (4) corresponds.

[0006]

[Equation 2]

$$f_{(n,1,0)} = \frac{1}{2 \cdot 2b} \sqrt{\frac{C_{66}}{\rho}} \left( 1 + \frac{1}{2} \frac{C_{11}}{C_{66}} \left( n \cdot \frac{b}{a} \right)^2 \right) \dots (2)$$

[0007]

[Equation 3]

$$f_{(0,0,n)} = \frac{n}{2 \cdot 2c} \sqrt{\frac{C_{55}}{\rho}} \dots (3)$$

[0008]

[Equation 4]

$$f_{(n,0,0)} = \frac{n}{2 \cdot 2a} \sqrt{\frac{C_{66}}{\rho}} \dots (4)$$

[0009] A formula (2) - a formula (4) show that frequency is greatly influenced by length 2a and width-of-face 2c of a blank in the mode a standing wave stands in length 2a or the direction of width-of-face 2c. When this spurious vibration exists near the principal vibration, energy-association with a principal vibration arises, consequently the energy of a principal vibration is taken, an impedance rises or frequency shifts.

[0010] Since spurious vibration had a far big temperature coefficient compared with the principal vibration, as drawing 3 (b) showed especially, it is the temperature dependence (the temperature characteristic is called below.) of a principal vibration. While measuring, a principal vibration is approached away quickly. Especially at the temperature which a principal vibration and spurious vibration intersect, when a principal vibration jumps and it is included in an oscillator, in order to cause a misfire phenomenon, on the occasion of layout of a vibrator blank, it is determined that length 2a and width-of-face 2c will avoid spurious vibration. For this reason, exact spurious oscillating prediction is a technical problem important for layout of vibrator.

[0011] Generally, what plotted each frequency location of the principal vibration called a mode chart and spurious vibration to the blank configuration is used for layout of vibrator. Although it is an example of the conventional low frequency mode chart which was shown in drawing 5, an axis of ordinate is frequency and a horizontal axis is width-of-face 2c of vibrator. In this Fig., other blank length 2a, the size of an electrode, etc. presupposed that it is fixed. In addition, the value from which width-of-face 2c and length 2a were standardized by the horizontal axis with thickness 2b in the normalized radian frequency by which frequency was standardized on the frequency of the Xtal blank without an electrode may be used for an axis of ordinate.

[0012] The point of being located all over drawing and on a line is a principal vibration, and the other point is spurious vibration. Spurious vibration which crosses a principal vibration does not exist in the field surrounded with a circle all over drawing. The vibrator whose frequency was stable can be obtained by designing 2c size corresponding to this field as blank width of face. In actual vibrator, since an

electrode is added or vibrator is supported, frequency is not observed as computed by the formula (1) · the formula (4).

[0013] Conventionally, such a mode chart is recent years and the finite element method ( FEM (Finite Element Method) is called henceforth.), although created by experiment for every configuration in many cases. The highly precise AT cut vibrator analysis to depend is established. (JP,2000-183415,A) A mode chart can be created now also by the computer. It is the result of drawing 5 also being computed by FEM.

[0014] Thus, a mode chart is indispensable, in order to perform spurious oscillating prediction of a quartz resonator efficiently and to look for an optimum design value.

[0015]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Recently, the demand of RF-izing to a quartz resonator is becoming high. As the formula (1) showed, in a RF, the contour vibration depending on length 2a shown by the formula (2) · the formula (4) or width-of-face 2c becomes a high order wave. If a high order wave exists in the direction of length 2a, or the direction of width-of-face 2c, since many spurious vibration which they compounded will also be generated, the number of spurious vibration increases further.

[0016] The conventional mode chart in a RF field is shown in drawing 6 . If it becomes a RF as compared with drawing 5 so that clearly, the gap of spurious vibration will become dense and the field suitable for layout will become very narrow. And in mass production, in order for there to be a processing error and also to have to take the frequency shift by the temperature of spurious vibration into consideration, it is next to impossible to find the optimal field.

[0017] However, not all spurious vibration computed in the temperature characteristic causing a frequency jump on experience, but the part in it combining with a principal vibration, and worsening the temperature characteristic was known. In order to evaluate the degree given to the principal vibration of spurious vibration, using the charge generated on the surface was also proposed (Shingaku Giho US 97-45 (1997-09)). Since Xtal has piezoelectric, the strain in the crystal generated by vibration is changed into a charge. The amount of charges is expressed with a formula (5).

[0018]

[Equation 5]

$$q = - \int_0^x \int_0^z D_2 dx_3 dx_1$$

$$D_2 = e_{25}(u_{1,3} + u_{3,1}) + e_{26}(u_{1,2} + u_{2,1}) \cdots (5)$$

q ; 総表面電荷量

e x ; x<sub>1</sub> 方向の電極長さ

e z ; x<sub>3</sub> 方向の電極幅

D<sub>2</sub> ; 電束密度

e<sub>25</sub> · e<sub>26</sub> ; 圧電定数

u<sub>1,j</sub> ; j 方向におけるひずみ成分

[0019] In FEM count, since the amount of displacement of each spurious vibration is computed, the amount of net charge generated on the surface is also computable by integrating with them the portion by which electrode addition was carried out. However, the surface charge of spurious vibration was what would catch the motion with the conventional continuous appraisal method by the interaction with other spurious vibration or a principal vibration to being what changes every moment last.

[0020] Then, the purpose of this invention is offering the layout method of a piezoelectric transducer

which can evaluate the effect which spurious vibration has on a principal vibration, the creation method of a mode chart, the creation method of a frequency temperature characteristic curve, the layout equipment of a piezoelectric transducer, and the simulation program of a piezoelectric transducer, taking into consideration the interaction of spurious vibration and a principal vibration.

[0021]

[Means for Solving the Problem] In this invention, the total amount of surface charge in each size conditions of each spurious vibration computed using a formula (5) as an index of judging strength of spurious vibration was used. It is because Xtal was piezoelectric crystal, so it thought that generating many amounts of charges became the factor which checks thickness slip vibration when it will be said that vibration is caused with big displacement and it naturally exists near a principal vibration. We decided to plot with a value proportional to the amount of net charge which specifically has the area of a point of expressing a principal vibration of the conventional mode chart, and spurious vibration when each vibration joins together.

[0022]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the layout method of the piezoelectric transducer concerning the operation gestalt of this invention is explained, referring to a drawing.

(Example 1) It replaces with drawing 5 and the mode chart shown in 6, and asks for the displacement of the principal vibration of said piezoelectric transducer, and spurious vibration with the finite element method, the amount of charges generated in an electrode surface with this displacement is computed, and the mode chart plotted by the method which adopted this amount of charges as weighting is shown in drawing 7 and 8. In addition, drawing 7 shows a low frequency mode chart, and drawing 8 shows a RF mode chart. Moreover, in drawing 7 and 8, what was expressed with a circle [ white ] is a principal vibration, and since it is very large compared with other spurious vibration, the amount of net charge has been made 1/20 of the amount of charges of displays. Other round heads express spurious vibration.

[0023] What having become clear from drawing 8 combines with a principal vibration like x3 \*\*\*\* slipping contour vibration, and is easy to cause a frequency jump in the temperature characteristic has many amounts of charges of the spurious vibration [ itself ], and has had big effect on the principal vibration as shown by the drawing Nakaya mark. Moreover, although the round mark also showed the other spurious vibration, although the amount of charges is not large in the field greatly distant from the principal vibration, when a principal vibration is approached, there are some whose amount of charges combine with a principal vibration and increases like.

[0024] That the amount of charges of spurious vibration increases means that the charge leakage to the spurious vibration from a principal vibration has taken place, and its amount of charges of a principal vibration decreases. That is, a principal vibration is checked, the increment in an impedance is caused or a frequency jump is caused. On the other hand, even if it approaches a principal vibration, change of the amount of charges is hardly shown, and spurious vibration to leave also exists. Some experiments were conducted in order to check these phenomena.

[0025] The temperature characteristic of the vibrator made as an experiment in the width-of-face (2c) size (1296 micrometers) of A point considered to be the easiest to be influenced by x3 \*\*\*\* slipping contour vibration shown in drawing 8 is shown in drawing 9. That drawing 9 (a) is shown in the temperature dependence of principal vibration frequency deviation and drawing 9 (b) plots the amount of gaps (curve fit error) from the 3rd curve of the principal vibration frequency deviation drawn into drawing 9 (a).



Drawing 9 (c) shows the temperature dependence of an impedance. As it has guessed with the mode chart of drawing 8, it turns out that two or more big frequency jumps exist in the elevated temperature side. From this thing, it has checked that spurious vibration existed also in the real device around the spurious vibration with the large amount of charges on the mode chart.

[0026] Thus, paying attention to the amount of net charge generated by association with a principal vibration and spurious vibration, spurious vibration which has big effect on reduction of the amount of charges of a principal vibration is displayed greatly relatively, and a small spurious vibration of the effect which it has on reduction of the amount of charges of a principal vibration is displayed small relatively. Thereby, which spurious vibration can distinguish easily whether the temperature characteristic of a principal vibration is worsened, and becomes possible [ designing the piezoelectric transducer in consideration of a frequency temperature anomaly easily ].

(Example 2) Drawing 10 is the conditions in the same A point, and shows the temperature characteristic using the amount of net charge computed by FEM analysis. namely, not only the frequency location of spurious vibration but the finite element method -- association of the principal vibration of a piezoelectric transducer, and spurious vibration -- displacement -- asking -- this association -- the temperature characteristic curve was created by adopting the method of computing the amount of charges generated in an electrode surface with displacement, and carrying out weighting to spurious vibration.

[0027] The condition of association with the frequency deviation of spurious vibration and the principal vibration by the temperature change can check clearly like the mode chart in an example 1. Drawing 9 (a) In an elevated temperature field, three spurious vibration SP1, SP2, and SP3 existed, and especially two spurious vibration SP2 and SP3 by the side of an elevated temperature has the large amount of charges, and has suggested inducing the big jump of principal vibration frequency as checked by the experimental result of (c). Thus, also in the temperature characteristic, it becomes possible by taking the amount of charges into consideration to perform more exact temperature characteristic prediction.

(Example 3) The experiment investigated the phenomenon about spurious vibration in which the amount of charges which exists near the principal vibration was small similarly. The temperature characteristic measurement result of the vibrator made as an experiment on the same conditions is shown in drawing 12 (a) - (c). In addition, in drawing 12 (a), the frequency temperature characteristic of a B point and drawing 12 (b) show the curve fit error of a B point, and drawing 12 (c) shows the impedance temperature characteristic of a B point.

[0028] A conspicuous spurious vibration was not able to be observed especially in a measurement result. Thus, a big spurious vibration was not observed in the real device, but what was judged that there are not a principal vibration and big association by evaluation of the amount of charges has checked that it was an effective means to make the amount of charges into an index. On the other hand, drawing 11 shows the temperature characteristic in consideration of the amount of charges computed from count. Although two spurious vibration SP4 and SP5 crosses to a principal vibration as the line showed all over drawing, the amount of net charge is not increasing greatly. (Example 4) Although it is effective in seeing the frequency physical relationship of a principal vibration and other spurious vibration, and the degree of transfer of a charge to adopt the mode chart which took the amount of charges into consideration in this way, the circumference of the spurious vibration with many amounts of charges hides, and also has the defect that it cannot see to a fine point. [0029] Then, especially paying attention to a principal vibration, change of the amount of charges and frequency may be plotted, as shown in drawing 13. Drawing 13

shows the width-of-face (2c) size dependency of a principal vibration and the amount of charges. This is the result of calculating on the same conditions as drawing 8. In drawing 13, since change of the amount of charges and frequency is expressed by coincidence, when the charge of a principal vibration is revealed to spurious vibration and the amount of charges decreases, signs that frequency is also shifted under the effect can be observed well. Based on this graph, the field stabilized by the both sides of frequency and the amount of charges can be chosen, and optimum design-ization of vibrator can be realized.

[0030] Drawing 14 is a flow chart which shows actuation of AT analyzer concerning 1 operation gestalt of this invention. In drawing 14, the model used as the candidate for analysis is determined (step S1). Specifically, a blank configuration, the existence of an electrode, the quality of the material of an electrode or a piezo electric crystal, temperature, boundary condition, etc. are determined.

[0031] Next, the mesh for analysis in the finite element method is created (step S2), and characteristic value analysis is performed (step S3). After specifically creating the matrix which uses a mesh point as an element, characteristic value and a characteristic vector are computed and it asks for resonance frequency. Next, each resonance frequency is analyzed and the amount of displacement, distortion, and surface charge are computed (step S4).

[0032] Next, while creating the mode chart corresponding to surface charge (step S5), a temperature characteristic curve is displayed (step S6). Thus, according to the operation gestalt mentioned above, the amount of charges generated by the amount of charges and spurious vibration which are generated by the principal vibration is not calculated separately, respectively, but the amount of net charge generated by association with a principal vibration and spurious vibration is calculated.

[0033] Spurious vibration which this combines [ vibration ] with a principal vibration among various spurious vibration, and worsens the temperature characteristic is not specified, it does not combine with a principal vibration, but it becomes possible to specify spurious vibration which does not worsen the temperature characteristic. For this reason, by keeping and specifying spurious vibration which is not combined with a principal vibration when it is difficult \*\*, with to find the good field of the temperature characteristic by spurious vibration in all fields, like the RF mode chart of drawing 6, it becomes easy to find the good field of the temperature characteristic, and it becomes possible to design with additional coverage.

[0034]

[Effect of the Invention] This invention can acquire the effect according to rank which is indicated below by taking a method which was mentioned above. According to this invention, by [ which exist in the frequency characteristic of a quartz resonator in FEM analysis ] computing the amount of displacement of various spurious vibration, and the amount of charges of spurious vibration computed from it, and plotting the value on a mode chart at coincidence, the effect to the principal vibration of spurious vibration can be predicted more correctly, and an optimum design field can be grasped correctly. Thereby, the increase of whenever [ design-margin ] and mass-production nature not only go up, but since efficient development can be performed, it can perform reduction which is a count of a prototype, and compaction of a development cycle.

**\* NOTICES \***

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DESCRIPTION OF DRAWINGS**

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] The definition showing the system of coordinates and each size of vibrator in this invention of a mark is shown.

[Drawing 2] The oscillation mode of a principal vibration is shown.

[Drawing 3] (a) shows the frequency temperature characteristic of a common AT cut quartz resonator, and (b) shows the frequency jump generated in the frequency temperature characteristic, when spurious vibration exists.

[Drawing 4] The oscillation mode of a typical spurious vibration is shown, (a) shows a thickness slipping seiche, (b) shows x3 \*\*\*\* slipping contour vibration, and (c) shows x1 shaft contour vibration.

[Drawing 5] A horizontal axis expresses width of face (2c), and an axis of ordinate expresses frequency with the conventional mode chart.

[Drawing 6] The conventional mode chart in a RF band is shown.

[Drawing 7] The low frequency mode chart by 1 operation gestalt of this invention with which consideration of a charge is carried out to each spurious vibration is shown.

[Drawing 8] The RF mode chart by 1 operation gestalt of this invention with which consideration of a charge is carried out to each spurious vibration is shown.

[Drawing 9] (a) shows the frequency temperature characteristic in an A point, (b) shows the temperature characteristic of the curve fit error in an A point, and (c) shows the impedance temperature characteristic in an A point.

[Drawing 10] The temperature characteristic curve in consideration of a charge is shown.

[Drawing 11] The temperature characteristic in a B point (calculation value) It is shown.

[Drawing 12] (a) shows the frequency temperature characteristic in a B point, (b) shows the temperature of the curve fit error in a B point, and (c) shows the impedance temperature characteristic in a B point.

[Drawing 13] The width-of-face (2c) size dependency of a principal vibration and the amount of charges is shown.

[Drawing 14] It is the flow chart which shows actuation of AT analyzer concerning 1 operation gestalt of this invention.

---

[Translation done.]

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2003-37462  
(P2003-37462A)

(43)公開日 平成15年2月7日(2003.2.7)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード(参考)
H 0 3 H 3/02		H 0 3 H 3/02	B 5 B 0 4 6
			A 5 J 1 0 8
G 0 6 F 17/50	6 1 2	G 0 6 F 17/50	6 1 2 H

審査請求 有 請求項の数19 O L (全 10 頁)

(21)出願番号 特願2001-226772(P2001-226772)  
(22)出願日 平成13年7月26日(2001.7.26)  
(31)優先権主張番号 特願2001-143839(P2001-143839)  
(32)優先日 平成13年5月14日(2001.5.14)  
(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000002369  
セイコーエプソン株式会社  
東京都新宿区西新宿2丁目4番1号  
(72)発明者 田中 雅子  
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内  
(72)発明者 今井 勉  
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内  
(74)代理人 100095728  
弁理士 上柳 雅彦 (外2名)

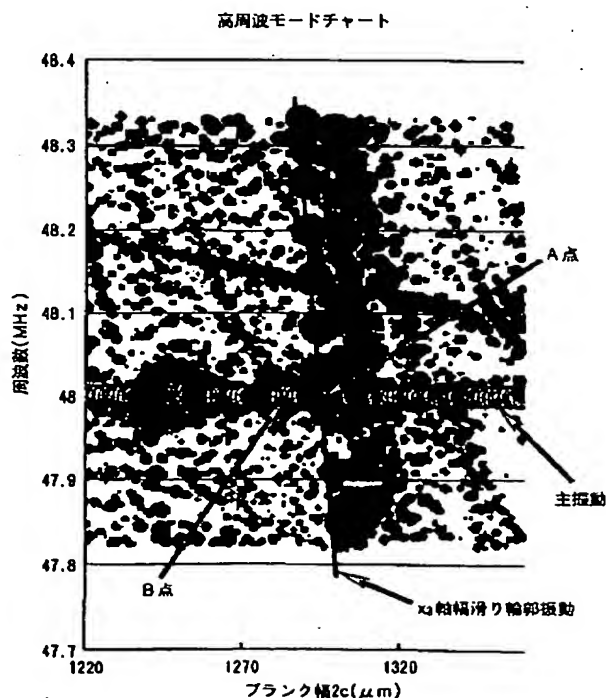
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 圧電振動子の設計方法、モードチャートの作成方法、周波数温度特性曲線の作成方法、圧電振動子のシミュレーション方法、圧電振動子の設計装置及び圧電振動子のシミュレーションプログラ

(57)【要約】

【課題】水晶振動子の高周波化に伴い、スプリアス振動を避けた最適設計領域が狭くなり、設計が非常に困難になっていた。

【課題解決手段】従来のモードチャートの主振動及びスプリアス振動を表わす点の面積を各振動の持つ総電荷量に比例した値でプロットすることとし、面積の大きいスプリアス振動を避ける領域を最適設計領域として選択する。



BEST AVAILABLE COPY

(2)

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 有限要素法により圧電振動子の主振動及びスプリアス振動の変位を求め、この変位により電極表面に発生する電荷量を算出することを特徴とする圧電振動子の設計方法。

【請求項2】 圧電振動子の設計をする際に、主振動及びスプリアス振動の寸法依存性を表わすモードチャートを作成し、そのモードチャートから最適設計値を決定する手法において、有限要素法により前記圧電振動子の主振動及びスプリアス振動の変位を求め、この変位により電極表面に発生する電荷量を算出し、この電荷量を重み付けに採用したことを特徴とするモードチャートの作成方法。

【請求項3】 圧電振動子の設計をする際に、主振動及びスプリアス振動の寸法依存性を表わすモードチャートを作成し、そのモードチャートから最適設計値を決定する手法において、有限要素法により前記圧電振動子の主振動及びスプリアス振動の変位を求め、この変位により電極表面に発生する電荷量を算出し、この電荷量を重み付けに採用したモードチャートから圧電振動子の最適設計領域を決定することを特徴とする圧電振動子の設計方法。

【請求項4】 有限要素法により算出した圧電振動子の周波数温度特性曲線の作成方法において、スプリアス振動の周波数位置のみでなく、有限要素法により前記圧電振動子の主振動及びスプリアス振動の変位を求め、この変位により電極表面に発生する電荷量を算出する方法を採用してスプリアス振動に重み付けを行なうことを特徴とする周波数温度特性曲線の作成方法。

【請求項5】 有限要素法により算出した圧電振動子の周波数温度特性曲線を用いた圧電振動子の設計方法において、スプリアス振動の周波数位置のみでなく、有限要素法により前記圧電振動子の主振動及びスプリアス振動の変位を求め、この変位により電極表面に発生する電荷量を算出する方法を採用してスプリアス振動に重み付けを行なうことにより作成した温度特性曲線を用いて、設計最適領域を決定することを特徴とする圧電振動子の設計方法。

【請求項6】 有限要素法により圧電振動子の主振動及びスプリアス振動の変位を求め、この変位により電極表面に発生する電荷量を算出する方法を用いて主振動の電荷量を算出し、その形状依存性から最適設計形状を決定することを特徴とする圧電振動子の設計方法。

【請求項7】 請求項6の圧電振動子の設計方法において、前記電荷量に加えて、周波数の形状依存性も考慮に入れ、前記電荷量及び前記周波数ともに安定した領域を最適設計領域とすることを特徴とする圧電振動子の設計方法。

【請求項8】 請求項1、3、5、6又は7において、前記圧電振動子が水晶振動子であることを特徴とする圧

2

電振動子の設計方法。

【請求項9】 請求項2において、前記圧電振動子が水晶振動子であることを特徴とするモードチャートの作成方法。

【請求項10】 請求項4において、前記圧電振動子が水晶振動子であることを特徴とする周波数温度特性曲線の作成方法。

【請求項11】 主振動とスプリアス振動との結合によって発生する総電荷量に基づいて、圧電振動子のブランク寸法を決定することを特徴とする圧電振動子の設計方法。

【請求項12】 前記ブランク寸法は、前記スプリアス振動による前記主振動の電荷量の減少が所定値以下となるように決定することを特徴とする請求項11記載の圧電振動子の設計方法。

【請求項13】 主振動とスプリアス振動との結合によって発生する総電荷量を算出することを特徴とする圧電振動子のシミュレーション方法。

【請求項14】 圧電振動子のブランク寸法をパラメータとして入力するパラメータ入力手段と、前記ブランク寸法について、主振動とスプリアス振動との結合によって発生する総電荷量を算出する総電荷量算出手段とを備えることを特徴とする圧電振動子の設計装置。

【請求項15】 前記スプリアス振動を示す点を、前記総電荷量に対応してモードチャート上に拡大表示するモードチャート表示手段をさらに備えることを特徴とする請求項14記載の圧電振動子の設計装置。

【請求項16】 前記モードチャート表示手段は、前記スプリアス振動を示す点を、前記総電荷量に対応する面積を有する円で表示することを特徴とする請求項15記載の圧電振動子の設計装置。

【請求項17】 前記ブランク寸法に対する前記主振動の電荷量および周波数の変化を表示する主振動表示手段をさらに備えることを特徴とする請求項14または15記載の圧電振動子の設計装置。

【請求項18】 圧電振動子のブランク寸法をパラメータとして、主振動とスプリアス振動との結合によって発生する電荷量を算出するステップをコンピュータに実行させることを特徴とする圧電振動子のシミュレーションプログラム。

【請求項19】 指定されたブランク寸法に対し、温度をパラメータとして、主振動とスプリアス振動との結合によって発生する電荷量を算出するステップをコンピュータに実行させることを特徴とする圧電振動子のシミュレーションプログラム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、圧電振動子の設計方法、モードチャートの作成方法、周波数温度特性曲線

50

(3)

3  
の作成方法、圧電振動子の設計装置および圧電振動子のシミュレーションプログラムに関する。

【0002】

【従来の技術】ATカット水晶振動子の主振動周波数は、矩形平板の形状を持つ振動子の結晶軸  $x_1$ 、 $x_2$ 、\*

4  
\*  $x_3$  を図1のように定義し、それぞれの寸法を長さ2  $a$ 、厚み2  $b$ 、幅2  $c$  とした場合、式(1)により決定される。

【0003】

【数1】

$$f_{(1,1,0)} = \frac{1}{2 \cdot 2b} \sqrt{\frac{C_{66}}{\rho}} \left( 1 + \frac{1}{2} \frac{C_{11}}{C_{66}} \left( \frac{b}{a} \right)^2 \right) \dots (1)$$

一般的には

$$\frac{1}{2} \frac{C_{11}}{C_{66}} \left( \frac{b}{a} \right)^2 \ll 1 \text{ である}$$

$f_{(1,1,0)}$  ; 主振動周波数

$C_{66}, C_{11}$  ; 弾性定数

$\rho$  ; 水晶の密度

【0004】これは、水晶ブランクが図2に示したように、厚み2  $b$  の方向  $x_2$  には滑りながら、 $x_1$  方向に変位を起こす厚み滑り振動と呼ばれるもので、周波数は、式(1)で示されたように、厚み2  $b$  にほぼ反比例する。この厚み滑り振動は、温度特性において、図3 (a)で示すように、3次曲線の温度特性を持っており、機器類の使用範囲である $-50^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ において、 $\pm 10 \text{ ppm}$ 程度の周波数偏差しか示さないため、高安定な周波数源として広く使用されている。

【0005】しかし、図1のような形状を持つ水晶ブランク

※シクには、主振動以外に様々な機械振動も同時に存在し、一般にスプリアス振動(不要振動)と呼ばれる。図4に代表的なスプリアス振動のモードを示し、それらのモードに対応する運動方程式から導かれた周波数の算出式を以下に示す。ここで、式(2)は図4(a)の場合に相当し、式(3)は図4(b)の場合に相当し、式(4)は図4(c)の場合に相当する。

【0006】

【数2】

$$f_{(n,1,0)} = \frac{1}{2 \cdot 2b} \sqrt{\frac{C_{66}}{\rho}} \left( 1 + \frac{1}{2} \frac{C_{11}}{C_{66}} \left( n \cdot \frac{b}{a} \right)^2 \right) \dots (2)$$

【0007】

【数3】

$$f_{(0,0,n)} = \frac{n}{2 \cdot 2c} \sqrt{\frac{C_{55}}{\rho}} \dots (3)$$

【0008】

【数4】

$$f_{(n,0,0)} = \frac{n}{2 \cdot 2a} \sqrt{\frac{C_{66}}{\rho}} \dots (4)$$

【0009】式(2)～式(4)により、長さ2  $a$  や幅2  $c$  方向に定在波が立つモードでは、周波数はブランクの長さ2  $a$  や、幅2  $c$  に大きく影響されることがわかる。このスプリアス振動が主振動の近くに存在する場合には、主振動とのエネルギー的な結合が生じ、その結果、主振動のエネルギーが取られて、インピーダンスが上昇したり、周波数がシフトしたりする。

【0010】特に、スプリアス振動は、主振動に比べはるかに大きな温度係数を持っているため、図3(b)で示したように、主振動の温度依存性(以下温度特性と称する。)を測定する中で、急速に主振動に近づき去っていく。特に、主振動とスプリアス振動が交差する温度で

は、主振動がジャンプしてしまい、発振器に組み込まれた場合には、不発現象を起こしてしまうため、振動子ブランクの設計に際しては、スプリアス振動を避けるように長さ2  $a$ 、幅2  $c$  を決定する。このため、正確なスプリアス振動予測は、振動子の設計にとって重要な課題である。

【0011】一般に、振動子の設計には、モードチャートと呼ばれる、主振動とスプリアス振動のそれぞれの周波数位置をブランク形状に対してプロットしたものが用いられる。図5に示したのは、従来の低周波モードチャートの一例であるが、縦軸は周波数、横軸は振動子の幅2  $c$  である。本図では、その他のブランク長さ2  $a$  や電極の寸法などは一定とした。なお、縦軸には、周波数が電極無し水晶ブランクの周波数で規格化された規格化周波数を、横軸には、幅2  $c$  や長さ2  $a$  が厚み2  $b$  で規格化された値を使うこともある。

【0012】図中、線上に位置する点は主振動で、それ以外の点はスプリアス振動である。図中に丸で囲まれた領域では、主振動に交わるスプリアス振動が存在しない。この領域に対応する2  $c$  寸法をブランク幅として設計することにより、周波数の安定した振動子を得ることが出来る。実際の振動子では、電極が付加されたり、振

(4)

5

動子が支持されたりするため、式(1)～式(4)に算出されたとおりに周波数が観測されることはない。

【0013】従来、このようなモードチャートは、形状毎に実験によって作成することが多かったが、近年、有限要素法(以後 FEM (Finite Element Method) と称する。)による高精度なATカット振動子解析が確立され(特開2000-183415号公報)、計算機によっても、モードチャートが作成できるようになった。図5もFEMにより算出された結果である。

【0014】このように、水晶振動子のスプリアス振動予測を効率的に行い、最適設計値を探すには、モードチャートは必須のものである。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】最近、水晶振動子に対する高周波化の要求が高くなってきた。式(1)で示したように、高周波では、式(2)～式(4)で示される長さ2aや幅2cに依存する輪郭振動が高次波になってくる。長さ2a方向や幅2c方向に高次波が存在すると、それらが複合したスプリアス振動も数多く発生する\*20

$$q = - \int_0^{2a} \int_0^{2c} D_2 dx_3 dx_1$$

$$D_2 = e_{25}(u_{1,3} + u_{3,1}) + e_{26}(u_{1,2} + u_{2,1}) \cdots (5)$$

q; 総表面電荷量

ex; x<sub>1</sub>方向の電極長さ

ez; x<sub>3</sub>方向の電極幅

D<sub>2</sub>; 電束密度

e<sub>25</sub>・e<sub>26</sub>; 圧電定数

u<sub>1,j</sub>; j方向におけるひずみ成分

【0019】FEM計算では、各スプリアス振動の変位量が算出されるため、それらを電極付加された部分で積分することにより、表面に発生する総電荷量も算出することが出来る。しかし、スプリアス振動の表面電荷は、他のスプリアス振動、又は主振動との相互作用により、刻々と変化するものであるのに対して、従来の評価法は連続的な動きを捉えるようなものではなかった。

【0020】そこで、本発明の目的は、スプリアス振動と主振動との相互作用を考慮しつつ、スプリアス振動が主振動に与える影響を評価することが可能な圧電振動子の設計方法、モードチャートの作成方法、周波数温度特性曲線の作成方法、圧電振動子の設計装置および圧電振動子のシミュレーションプログラムを提供することである。

【0021】

【課題を解決するための手段】本発明では、スプリアス振動の強弱を判断する指標として、式(5)を用いて算出した各スプリアス振動の各寸法条件における総表面電荷量を用いた。水晶は圧電結晶であるので、電荷量を多く発生するという事は、大きな変位で振動を起こして

6

\*ため、スプリアス振動の数がさらに増す。

【0016】図6に高周波領域における従来のモードチャートを示す。図5と比較して明らかなように、高周波になると、スプリアス振動の間隔が密になり、設計に適した領域は非常に狭くなる。しかも、量産においては、加工誤差もあり、スプリアス振動の温度による周波数シフトも考慮に入れなければならないため、最適領域を見つけることは、不可能に近い。

【0017】しかし、経験上、温度特性において算出されるすべてのスプリアス振動が周波数ジャンプを引き起こすのではなく、その中の一部が主振動と結合して温度特性を悪化させることは知られていた。スプリアス振動の主振動に与える程度を評価するために、表面に発生する電荷を用いることも提案された(信学技報 US97-45(1997-09))。水晶は圧電性を持つため、振動により発生した結晶内のひずみは電荷に変換される。その電荷量は式(5)で表わされる。

【0018】

【数5】

いるということになり、当然、主振動付近に存在する時には、厚み滑り振動を阻害する要因になると考えたからである。具体的には、従来のモードチャートの主振動及びスプリアス振動を表わす点の面積を、各振動が結合した際に持つ総電荷量に比例した値でプロットすることとした。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態に係る圧電振動子の設計方法について、図面を参照しながら説明する。

(実施例1) 図5、6に示したモードチャートに代えて、有限要素法により前記圧電振動子の主振動及びスプリアス振動の変位を求め、この変位により電極表面に発生する電荷量を算出し、この電荷量を重み付けに採用した方式でプロットしたモードチャートを図7、8に示す。なお、図7は、低周波モードチャートを示し、図8は、高周波モードチャートを示す。また、図7、8中で、白丸で表わしたのが主振動で、総電荷量が他のスプリアス振動に比べて非常に大きいため、電荷量の1/2の表示にしてある。その他の丸はスプリアス振動を表



(5)

7

わす。

【0023】図8から明らかになったことは、x3軸幅滑り輪郭振動のように、主振動と結合して温度特性において周波数ジャンプを引き起こしやすいものは、図中矢印で示されているように、スプリアス振動自体の電荷量が多く、主振動に大きな影響を与えている。又、それ以外のスプリアス振動についても、丸印で示したもののよう、主振動から大きく離れた領域では、電荷量は大きくないが、主振動に近づくと、主振動と結合して電荷量が増えるものがある。

【0024】スプリアス振動の電荷量が増えるということは、主振動からスプリアス振動への電荷漏洩が起こっていることを意味し、主振動の電荷量が減る。即ち、主振動が阻害され、インピーダンス増加を起こしたり、周波数ジャンプを起こしたりする。一方では、主振動に近づいても、ほとんど、電荷量の変化を示さず、又、離れてしまうスプリアス振動も存在する。これらの現象を確認するために、いくつかの実験を行なった。

【0025】図8に示されたx3軸幅滑り輪郭振動に最も影響されやすいと思われるA地点の幅(2c)寸法(1296 $\mu$ m)において試作された振動子の温度特性を図9に示す。図9(a)は主振動周波数偏差の温度依存性、図9(b)に示すのは、図9(a)中に描かれた主振動周波数偏差の3次曲線からのずれ量(カーブフィットエラー)をプロットしたものである。図9(c)は、インピーダンスの温度依存性を示す。図8のモードチャートで推測できたように、高温側において大きな周波数ジャンプが複数存在していることが分かる。このことから、モードチャート上で電荷量が大きいスプリアス振動の周辺では、実デバイスにおいても、スプリアス振動が

存在していることが確認できた。

【0026】このように、主振動とスプリアス振動との結合によって発生する総電荷量に注目し、主振動の電荷量の減少に大きな影響を与えるスプリアス振動を相対的に大きく表示し、主振動の電荷量の減少に与える影響の小さなスプリアス振動を相対的に小さく表示する。これにより、どのスプリアス振動が、主振動の温度特性を悪化させるかを容易に判別することができ、周波数温度偏差を考慮した圧電振動子の設計を容易に行うことが可能となる。

(実施例2)図10は、同じA点における条件で、FEM解析により算出された総電荷量を用いた温度特性を示したものである。すなわち、スプリアス振動の周波数位置のみでなく、有限要素法により圧電振動子の主振動及びスプリアス振動の結合変位を求め、この結合変位により電極表面に発生する電荷量を算出する方法を採用してスプリアス振動に重み付けを行なうことにより、温度特性曲線を作成した。

【0027】実施例1におけるモードチャートと同様、温度変化によるスプリアス振動の周波数偏差と主振動と

8

の結合の状態が、明確に確認できる。図9(a)～

(c)の実験結果で確認した通り、高温領域において、3つのスプリアス振動SP1、SP2、SP3が存在し、特に、高温側の2つのスプリアス振動SP2、SP3は、電荷量が大きく、主振動周波数の大きなジャンプを誘発することを示唆している。このように、温度特性においても、電荷量を考慮することにより、より正確な温度特性予測を行なうことが可能となる。

(実施例3)同様に、主振動近くに存在する電荷量が小さいスプリアス振動についての現象を、実験により調べた。同じ条件で試作した振動子の温度特性測定結果を、図12(a)～(c)に示す。なお、図12(a)は、B点の周波数温度特性、図12(b)は、B点のカーブフィットエラー、図12(c)は、B点のインピーダンス温度特性を示す。

【0028】測定結果では、特に目立つスプリアス振動を観測することは出来なかった。このように、電荷量の評価で、主振動と大きな結合が無いと判断されたものは、実デバイスにおいても大きなスプリアス振動が観測されず、電荷量を指標とすることは、有効な手段であることが確認できた。一方、図11は、計算より算出した電荷量を考慮した温度特性を示す。図中に線で示したように、主振動に対して2つのスプリアス振動SP4、SP5が交差しているが、総電荷量は大きく増加していない。

(実施例4)このように、電荷量を考慮に入れたモードチャートを採用することは、主振動と他のスプリアス振動との周波数位置関係および電荷の授受の程度を見るのに有効であるが、電荷量の多いスプリアス振動の周辺は隠れてしまい、細かい点まで見ることができないという欠点もある。

【0029】そこで、特に主振動に注目して、その電荷量と周波数の変化を、図13に示すように、プロットしてもよい。図13は、主振動と電荷量の幅(2c)寸法依存性を示す。これは、図8と同様の条件で計算した結果である。図13においては、電荷量と周波数の変化が同時に表現されるため、スプリアス振動に主振動の電荷が漏洩し、電荷量が減少した時に、その影響で周波数もシフトしてしまう様子を良く観測することができる。このグラフをもとに、周波数と電荷量の双方が安定した領域を選ぶことができ、振動子の最適設計化が実現できる。

【0030】図14は、本発明の一実施形態に係るAT解析プログラムの動作を示すフローチャートである。図14において、解析対象となるモデルを決定する(ステップS1)。具体的には、プランク形状、電極の有無、電極や圧電体の材質、温度、境界条件などを決定する。

【0031】次に、有限要素法における解析用メッシュを作成し(ステップS2)、固有値解析を行う(ステップS3)。具体的には、メッシュ点を要素とする行列を

50

9

作成した後、固有値および固有ベクトルを算出し、共振周波数を求める。次に、各共振周波数の解析を行い、変位量、歪みおよび表面電荷を算出する（ステップS4）。

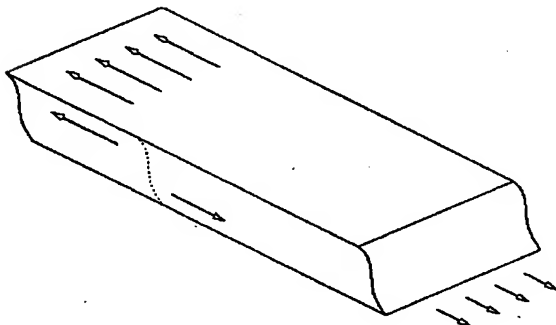
【0032】次に、表面電荷に対応したモードチャートを作成するとともに（ステップS5）、温度特性曲線を表示する（ステップS6）。このように、上述した実施形態によれば、主振動により発生する電荷量およびスプリアス振動により発生する電荷量をそれぞれ別個に求めるのではなく、主振動とスプリアス振動との結合により発生する総電荷量を求める。

【0033】これにより、様々のスプリアス振動のうち、主振動と結合して温度特性を悪化させるスプリアス振動を特定したり、主振動と結合せず、温度特性を悪化させることのないスプリアス振動を特定したりすることが可能となる。このため、図6の高周波モードチャートのように、全ての領域において、スプリアス振動で埋もってしまい、温度特性の良好な領域を見つけることが困難な場合においても、主振動と結合しないスプリアス振動を特定することにより、温度特性の良好な領域を見つけることが容易となり、余裕を持って設計を行うことが可能となる。

#### 【0034】

【発明の効果】本発明は、上述したような方法を行うことにより、以下に記載するような格別の効果を得ることが出来る。本発明によれば、FEM解析により水晶振動子の周波数特性中に存在する様々なスプリアス振動の変位量と、それより算出されるスプリアス振動の電荷量を算出し、その値をモードチャート上に同時にプロットすることにより、より正確にスプリアス振動の主振動に対する影響を予測し、最適設計領域を正確に把握することが出来る。これにより、設計余裕度が増し、量産性が上がるだけでなく、効率的な開発を行なうことが出来るため、試作回数の低減、開発期間の短縮を行なうことが出来る。

【図2】



(6)

10

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明における振動子の座標系と各寸法を表わす記号の定義を示す。

【図2】主振動の振動モードを示す。

【図3】(a)は一般的なATカット水晶振動子の周波数温度特性を示し、(b)はスプリアス振動が存在することにより周波数温度特性に発生する周波数ジャンプを示す。

【図4】代表的なスプリアス振動の振動モードを示し、(a)は厚み滑り副振動を示し、(b)はx3軸幅滑り輪郭振動を示し、(c)はx1軸輪郭振動を示す。

【図5】従来のモードチャートで横軸は幅(2c)、縦軸は周波数を表わす。

【図6】高周波帯における従来のモードチャートを示す。

【図7】本発明の一実施形態による、各スプリアス振動に対して電荷の考慮がされている低周波モードチャートを示す。

【図8】本発明の一実施形態による、各スプリアス振動に対して電荷の考慮がされている高周波モードチャートを示す。

【図9】(a)はA点における周波数温度特性を示し、(b)はA点におけるカーブフィットエラーの温度特性を示し、(c)はA点におけるインピーダンス温度特性を示す。

【図10】電荷を考慮した温度特性曲線を示す。

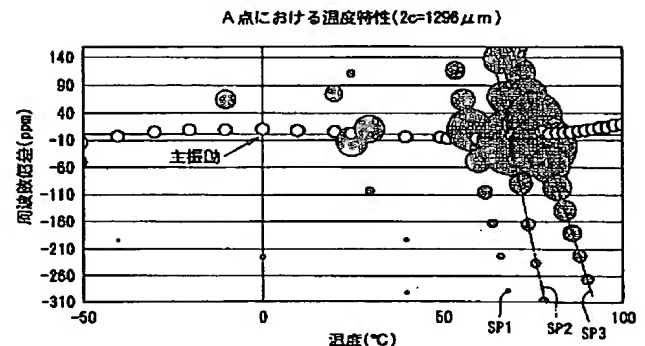
【図11】B点における温度特性(算出値)を示す。

【図12】(a)はB点における周波数温度特性を示し、(b)はB点におけるカーブフィットエラーの温度特性を示し、(c)はB点におけるインピーダンス温度特性を示す。

【図13】主振動と電荷量の幅(2c)寸法依存性を示す。

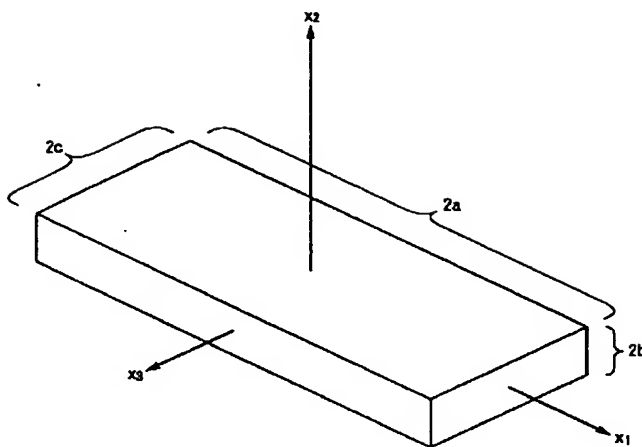
【図14】本発明の一実施形態に係るAT解析プログラムの動作を示すフローチャートである。

【図10】

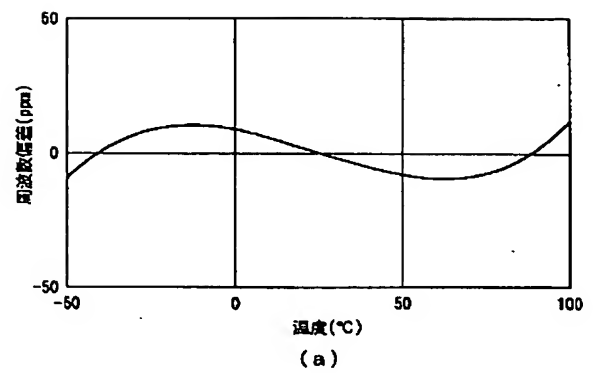


(7)

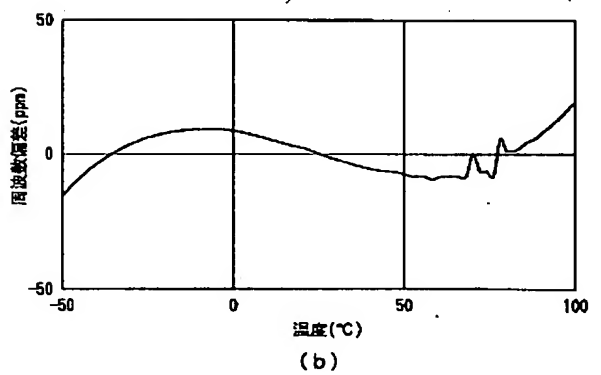
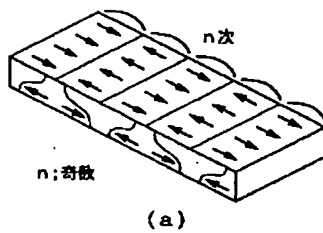
【図1】



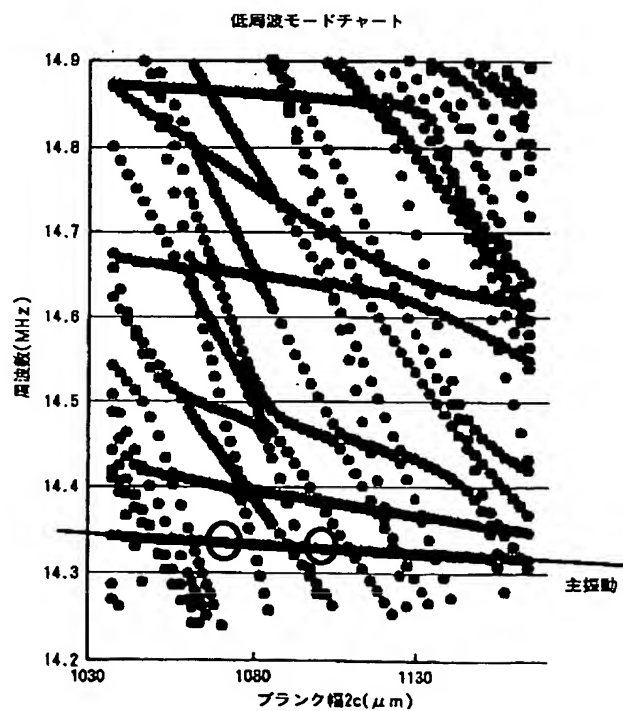
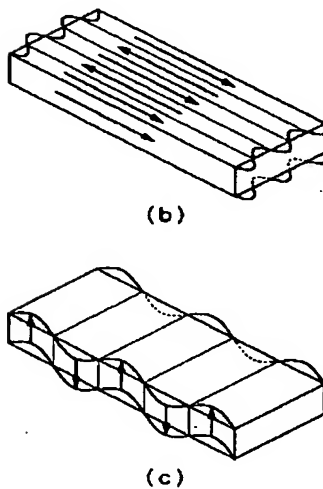
【図3】



【図4】

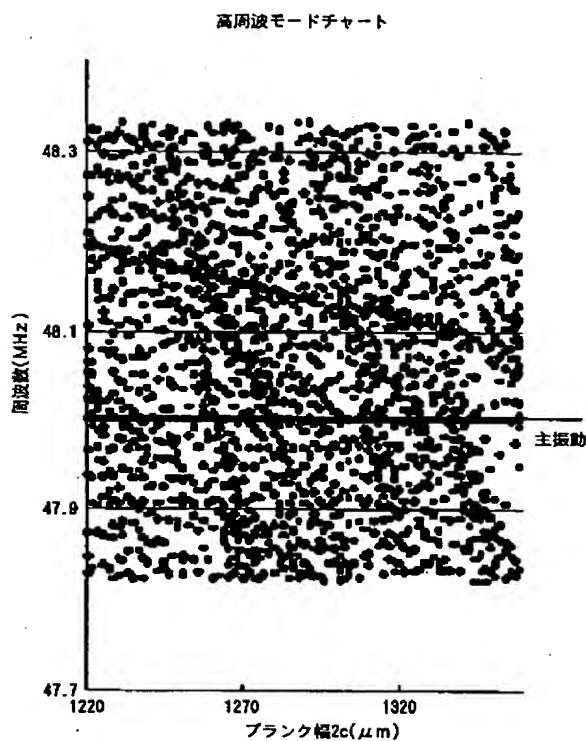


【図5】

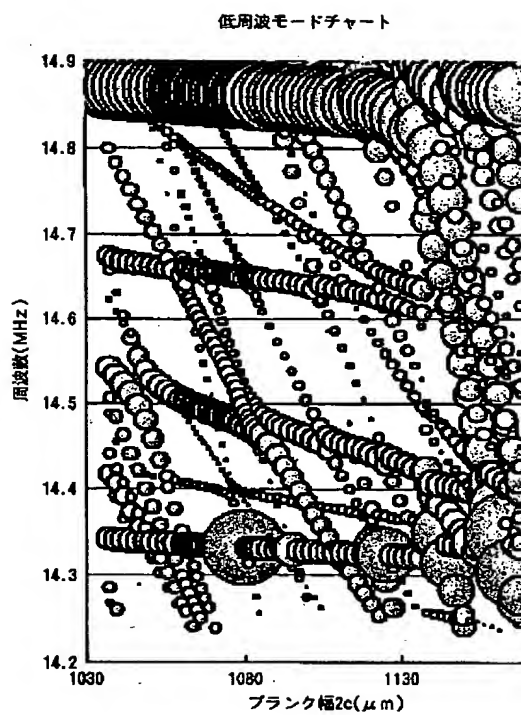


(8)

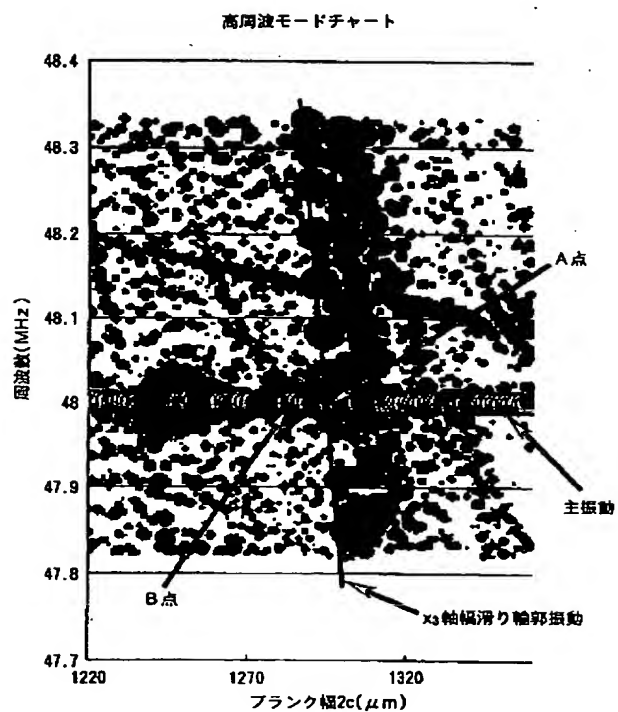
【図 6】



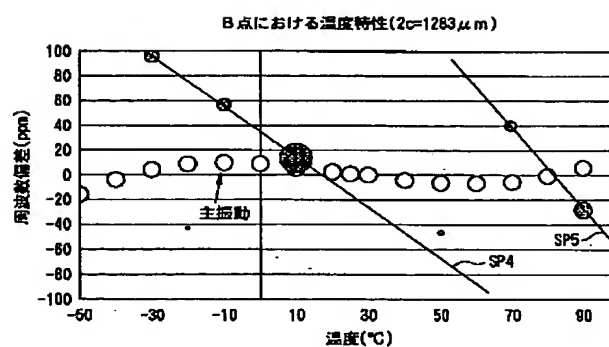
【図 7】



【図 8】



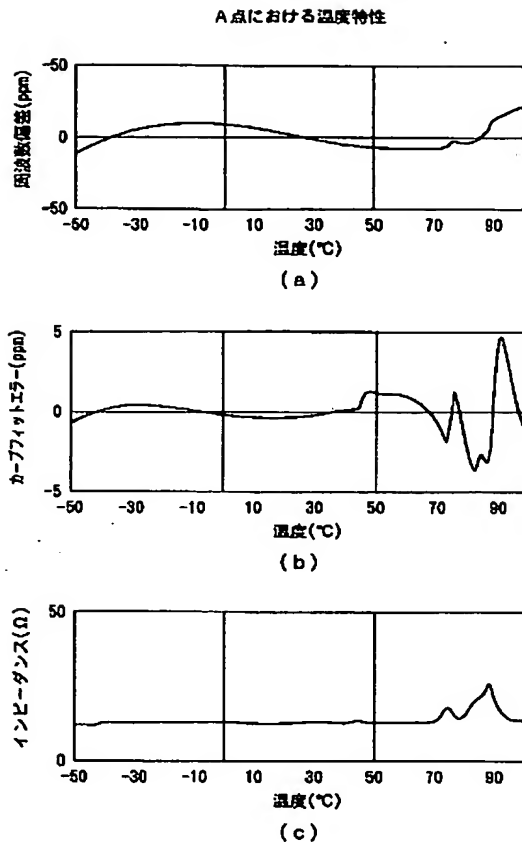
【図 11】



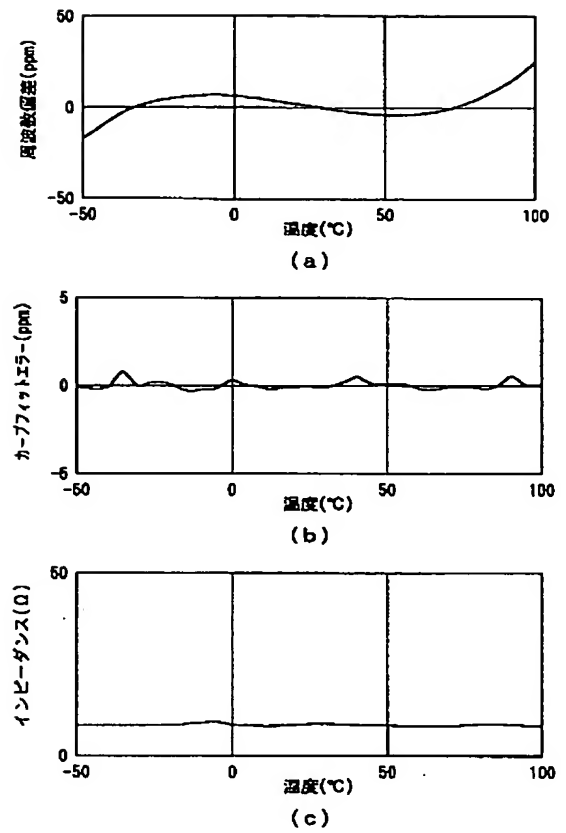
BEST AVAILABLE COPY

(9)

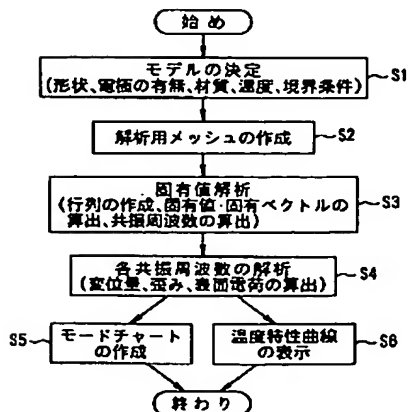
【図9】



【図12】

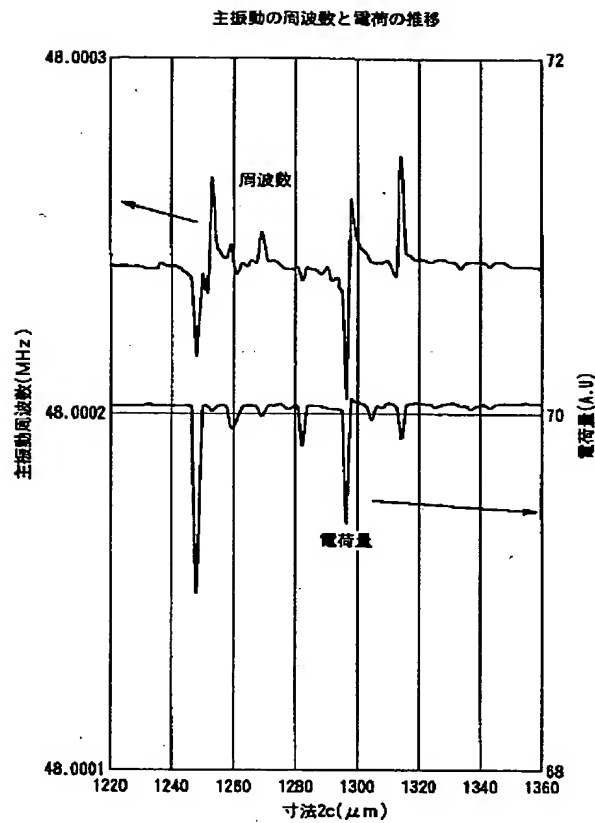


【図14】



(10)

【図13】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5B046 AA07 BA01 JA02 JA04  
 5J108 AA01 AA04 BB02 CC04 DD02  
 MM11

(54) 【発明の名称】 圧電振動子の設計方法、モードチャートの作成方法、周波数温度特性曲線の作成方法、圧電振動子のシミュレーション方法、圧電振動子の設計装置及び圧電振動子のシミュレーションプログラム